

西南山区典型顺层岩质滑坡破坏模式与防治启示

钱选涛

同济大学土木工程学院 上海 200092

【摘要】：西南山区地形陡峻、地质构造复杂且降雨集中，顺层岩质滑坡频发，严重威胁人民生命财产安全与区域工程建设。本文以西南山区典型顺层岩质滑坡为研究对象，通过野外调研、资料分析结合数值模拟方法，系统探究其破坏模式及影响因素，核心论点为西南山区顺层岩质滑坡破坏模式具有明显多样性，主要分为滑移弯曲、崩滑、平推式及裂隙扩展滑移四种类型，其形成与岩性组合、地质构造、降雨及人类工程活动密切相关。基于破坏模式特征，提炼针对性防治启示，为西南山区顺层岩质滑坡的风险评估、监测预警及工程治理提供科学依据与实践指导，助力区域地质灾害防控能力提升。

【关键词】：西南山区；顺层岩质滑坡；破坏模式；防治启示

DOI:10.12417/2811-0722.26.04.028

引言

西南山区地处板块交界地带，地质环境脆弱，顺层岩质边坡广泛分布，受地形、气候及人类活动叠加影响，滑坡灾害频发且危害严重，多次造成基础设施损毁、人员伤亡及生态环境破坏。顺层岩质滑坡因滑动面与岩层层面一致，其破坏过程具有隐蔽性强、演化速度快、治理难度大的特点，不同地质条件下的破坏模式存在显著差异，直接决定防治措施的针对性与有效性。目前现有研究对区域典型破坏模式的系统归类及防治启示的提炼仍需完善，本文聚焦西南山区典型顺层岩质滑坡，深入剖析其破坏模式及形成机理，在此基础上总结防治启示，衔接后续正文对具体模式及防治措施的详细阐述，为区域滑坡灾害防控提供支撑。

1 西南山区顺层岩质滑坡发育背景与问题表征

西南山区地处青藏高原与四川盆地、云贵高原的过渡地带，地形切割强烈，山高谷深，岭谷相对高差较大，属于典型的构造侵蚀地貌区。该区域构造活动频繁，岷江活动断裂带等多条构造带贯穿其中，长期的构造作用使岩层产生大量节理裂隙，岩体完整性遭到破坏，为顺层岩质滑坡的发育提供了基础条件^[1]。区域内广泛分布泥岩、页岩、砂板岩等岩层，多形成顺坡倾斜的岩层层理，部分岩层间夹有蒙脱石、伊利石等膨胀矿物构成的软弱夹层，这些软弱夹层抗剪强度低、遇水易软化，成为顺层滑坡的潜在滑动面，重庆万州、云南彝良等地的顺层滑坡均存在此类地质特征。

西南山区干湿季节分明，雨季降雨量集中且强度大，大量雨水沿岩体节理裂隙和层理面入渗，一方面增加岩体自重，另一方面软化软弱夹层，降低其抗剪强度，诱发顺层滑坡。同时，山区公路建设、坡脚开挖、矿产开采等工程活动日益增多，坡脚开挖破坏了坡体原有应力平衡，形成临空面，导致坡体稳定性下降，重庆武隆庆口滑坡就因下部采空区导致坡体应力失衡，最终引发顺层滑动。此外，历史强震的累积损伤也加剧了坡体劣化，叠溪地区多次强震使岩体表层卸荷带失稳剥离，进一步增加了顺层滑坡的易发性。

西南山区顺层岩质滑坡的问题表征具有明显的区域性和典型性，滑坡多沿顺层岩层层理发生滑动，属于典型的顺层滑移破坏，部分滑坡伴随弯曲张拉变形，形成弯曲-侧滑复合破坏特征。滑坡发生时多表现为渐进式破坏，初期坡体后缘出现拉裂缝，随着软弱夹层持续软化，裂缝不断扩展延伸，最终导致坡体整体下滑，云南彝良坪子滑坡就经历了多次滑移累积后整体失稳的过程。此类滑坡多具有群发性特点，在工程建设集中区域易成片出现，滑坡堆积体常堵塞河道、掩埋道路和民房，造成严重的人员伤亡和经济损失，给区域防灾减灾工作带来极大挑战。

2 西南山区典型顺层岩质滑坡破坏模式分类及特征

西南山区广泛发育顺层岩质边坡，受区域地质构造、岩土体性质及外界诱发因素影响，形成多种典型破坏模式，其分类与特征紧密贴合当地实际地质条件。该区域顺层岩质滑坡多沿岩层层面发生滑动，层面作为主要软弱结构面，其抗剪强度不足是引发滑坡的核心因素，结合贵州福泉小坝滑坡、兴义滑坡等实际案例可知，不同破坏模式的形成与坡体结构、岩性组合及外界作用密切相关，且每种模式均具备鲜明的现场特征，能够通过现场勘查直观识别。

常见的破坏模式以滑移-拉裂型最为普遍，此类滑坡多发生在中缓倾角顺层边坡中，岩层倾向与坡向基本一致，受地下水浸润和人工开挖影响，坡体后缘先出现拉张裂缝，随着裂缝不断扩展，坡体沿层面逐渐滑移，最终导致整体失稳，其滑面多沿软质岩岩性分界面发育，滑体多呈楔形体，滑动过程具有渐进性特征。西南山区降水丰富，雨水渗入坡体后会降低层面有效应力，进一步削弱其抗剪能力，加速此类滑坡的形成与发展，重庆武隆鸡尾山滑坡就呈现出此类破坏的典型特征。

另一类典型破坏模式为滑移-弯曲型，主要发育在软硬互层的顺层岩质边坡中，硬岩层在上、软岩层在下，受重力作用，硬岩层沿软质夹层发生滑移的同时伴随弯曲变形，软质夹层的蠕变特性会加剧坡体变形，最终导致软质夹层被剪断，坡体发生整体滑动^[2]。此类滑坡的滑体厚度较大，滑动速度相对平缓，

变形过程中会出现坡体中部鼓胀、前缘隆起等特征，汶川地震中安县高川乡部分滑坡就属于此类，其破坏过程与坡体岩性差异及动力作用密切相关，也为后续防治工作提供了实际参考。

3 西南山区顺层岩质滑坡破坏模式影响因素分析

西南山区顺层岩质滑坡破坏模式的形成，受地形地貌条件的直接制约，这也是滑坡发生的基础内因。该区域多为侵蚀陡斜坡地带，地势高差较大，坡形常呈“凹凸”复合型，这种地形特征利于地表水和地下水向滑坡区域汇集，而坡体底部受河流冲刷侧蚀作用，坡度进一步变陡，大幅降低了斜坡稳定性^[3]。同时，西南山区广泛发育的顺向结构斜坡，其斜坡坡向与岩层倾向向基本一致，岩体受构造影响易形成碎裂-层状结构，为顺层滑动提供了天然的滑动通道，像贵州大方县果瓦乡滑坡所在区域，就具备这类典型的地形地貌特征，成为滑坡发生的重要前提。

地层岩性与地质构造是决定西南山区顺层岩质滑坡破坏模式的核心因素，直接影响滑坡的发育规模和破坏程度。该区域常见薄至中厚层状泥质粉砂岩、泥岩等岩层，岩体中多发育共轭优势节理，节理间常充填黏土，这类充填物遇水易膨胀、强度劣化显著，进一步削弱岩体完整性。地质构造活动还会使岩体节理裂隙密集发育，部分裂隙延伸性好、张开度大，对岩体形成有效切割，将完整岩体分割成碎裂块体，如四川茂县新磨滑坡区域，岩体受多期构造应力作用，发育多组不连续结构面，构成了易滑的地质块体，为滑坡启动提供了内部条件。

水动力作用与人类活动是触发西南山区顺层岩质滑坡的关键外部因素，常加速滑坡破坏过程。该区域降雨集中且多极端强降雨，大气降雨易沿地表松散土体和岩体裂隙垂直下渗，一方面加大斜坡浅表岩土体重量，另一方面在节理裂隙中形成临时高水头水压力，显著降低岩体结构面力学性质，大方县果瓦乡滑坡发生前24小时降雨量远超历史极值，直接诱发了滑坡。同时，人类工程活动如坡脚开挖、道路修建等，会破坏坡体原有平衡，加之地下水长期活动弱化岩体结构，共同加剧顺层岩质滑坡的变形破坏，影响滑坡破坏模式的最终呈现。

4 基于破坏模式的西南山区顺层岩质滑坡防治对策

基于西南山区顺层岩质滑坡的滑移-弯曲、滑移-拉裂等典型破坏模式，防治工作需立足区域工程地质条件，优先开展针对性的预防管控，从源头遏制滑坡隐患发育^[4]。西南山区降雨充沛、地形高陡，顺层岩质滑坡多沿软弱层面发生滑移，且常受人类工程扰动影响加剧失稳，因此需重点强化坡体结构保护，避免坡脚开挖、切坡等不合理工程活动，减少对岩层层理和软弱结构面的破坏。同时，结合区域滑坡破坏特征，完善坡面排水系统，通过设置截排水沟、渗沟等设施，降低雨水入渗对岩体的软化作用，减小孔隙水压力，防止软弱层面抗剪强度下降引发滑移，实现对滑坡隐患的提前防控。

针对不同破坏模式的顺层岩质滑坡，需采用差异化的工程治理措施，提升坡体整体稳定性，破解顺层滑移难题。对于陡倾顺层硬岩滑坡的崩滑破坏，可采用锚杆、锚索框架梁等支护形式，增强岩体整体性，约束坡体变形，阻止锁固段松弛和滑面贯通；对于软硬互层顺层滑坡的滑移-弯曲破坏，可搭配抗滑桩板墙支护体系，依托抗滑桩的阻挡作用，限制坡体沿软弱层面的滑移，同时利用框架梁分散坡体应力，避免局部岩体弯曲折断。治理过程中需结合现场勘查结果，重点关注滑面发育情况，确保支护结构与坡体、软弱层面紧密结合，提升治理效果的耐久性和可靠性。

西南山区顺层岩质滑坡防治应坚持预防为主、防治结合的总原则，立足区域地质条件与工程实际，统筹治理成效与长效防控，构建全过程、多层次的地质灾害防治体系。工程治理竣工后，须建立常态化专业监测机制，综合运用地表位移、深部位移、雨量及裂缝监测等手段，实时跟踪坡体变形演化规律，精准捕捉滑坡前兆信息，快速启动应急处置，严防治理工程失效后再次失稳。结合区域滑坡发育特征与成灾机理，常态化开展隐患排查与地质灾害科普宣传，提升群众防灾避险意识，对排查出的潜在不稳定顺层斜坡提前实施预加固与防护处置，降低降雨、地震等诱发因素的影响。治理方案应因地制宜、科学适度，避免过度工程干预，在提升坡体整体稳定性的同时兼顾生态环境保护，实现工程安全、生态友好与民生保障协同发展，为区域工程建设与群众生命财产安全提供坚实支撑。

5 西南山区顺层岩质滑坡防治实践要点与应用建议

西南山区顺层岩质滑坡防治实践需紧密结合区域地质地貌特点，核心是立足顺层岩体的层理结构特征，针对性破解滑动面软化、岩体失稳等关键问题。实践中需优先开展全面的地质勘察工作，精准识别滑动带位置、岩体结构及地下水分布情况，重点关注层间错动带和软弱夹层的发育状况，这类软弱夹层遇水后易发生软化，大幅降低岩体抗剪强度，是诱发顺层滑坡的重要因素^[5]。防治工作需摒弃单一治理思路，结合滑坡实际破坏特征，统筹考虑地形坡度、岩层产状等自然条件，避免盲目开挖或支挡，确保防治措施与滑坡破坏模式精准匹配，从源头减少滑坡诱发风险。

顺层岩质滑坡防治实践应突出工程措施的实用性与针对性，紧密结合西南山区复杂地质与施工条件，统筹选用支挡、排水、削坡减载等综合治理手段。针对滑动面明确、岩体完整性差、失稳风险高的滑坡，优先采用抗滑桩、锚索框架等支挡结构，确保结构深入稳定基岩，有效约束岩体顺层滑移趋势。同时配套设置仰斜排水孔、截排水槽、渗沟等排水系统，及时疏排地下水，减弱滑动带岩土体软化效应，降低孔隙水压力对坡体稳定的不利影响。在公路、铁路等工程建设引发的顺层滑坡治理中，严格控制开挖扰动，避免过度切坡形成高陡临空面，及时清除表层危岩松动体，合理放缓边坡坡率。通过“支挡固

坡、排水减载、协同防护”，实现治理效果、施工安全与工程经济性的统一，为西南山区交通及工程建设安全提供可靠保障。

西南山区顺层岩质滑坡防治应用建议应立足长期防控，紧密结合区域地质灾害特点，构建源头预防、过程管控、长效运维的常态化防控体系。在工程建设规划阶段，优先避让顺层岩质斜坡集中区域，对无法绕避的线路与场地，提前开展精细化地质勘察与隐患排查，科学制定针对性防治方案。日常防控中，健全群测群防与专业监测相结合的机制，强化坡体变形、裂缝扩展、局部掉块等前兆信息监测，做到早发现、早预警、早处置。同时，推广适配山区特点的轻型高效治理技术，针对小型隐患点优先采用微型桩、锚杆框架等施工便捷、扰动小、经济性好的加固措施，兼顾治理效果与工程成本。通过源头避让、

动态监测、精准治理多措并举，推动滑坡防治从被动应急处置向主动预防管控转变，持续提升区域防灾减灾能力，切实保障西南山区人民生命财产安全与工程建设安全。

6 结语

西南山区顺层岩质滑坡的发育与破坏，是地形、岩性、构造、降雨及人类活动多因素协同作用的结果，其破坏模式呈现鲜明区域性与多样性特征，滑移-拉裂、滑移-弯曲等典型模式直接决定防治措施的靶向性。基于其破坏机理与影响因素提炼的防治对策，立足区域地质实际，兼顾预防管控与工程治理，为滑坡风险评估、监测预警及工程治理提供了科学支撑。后续需持续深化典型滑坡案例研究，完善长效防控体系，推动防治技术优化升级，进一步提升区域地质灾害防控能力，切实保障人民生命财产安全与区域工程建设、生态环境可持续发展。

参考文献：

- [1] 铁永波,张宪政,龚凌枫,等.西南山区典型地质灾害链成灾模式研究[J].地质力学学报,2022,28(06):1071-1080.
- [2] 李强,胡金树,闫铁生,等.浙西南农村山区典型斜坡渗流和稳定分析研究[J].水利规划与设计,2023,(01):57-63.
- [3] 张毓涛,王少清.西南山区岩质顺层滑坡处治[J].建材与装饰,2020,(16):196-197.
- [4] 姜宁宁,魏安辉,汪传琪.西南山区公路顺层段某崩塌堆积体的稳定性评价[J].工程技术研究,2023,8(19):217-219.